

PAT-NO: JP02001015845A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001015845 A

TITLE: WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION  
SYSTEM UTILIZING RAMAN DISTRIBUTION AMPLIFIER

PUBN-DATE: January 19, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SUZUKI, HIROO	N/A
TAKACHIO, NOBORU	N/A
MASUDA, KOJI	N/A
KAWAI, SHINGO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>	N/A

APPL-NO: JP11187965

APPL-DATE: July 1, 1999

INT-CL (IPC): H01S003/30, G02F001/35, H04B010/14, H04B010/06,  
H04B010/04  
, H04B010/17, H04B010/16, H04J014/00, H04J014/02

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a wavelength multiplex optical transmission system which copes with the fluctuation of the number of channels and the fluctuation of a span loss without using a variable optical attenuator for adjusting the gain of the system, and is very good in noise characteristic while maintaining the flatness of the gain.

SOLUTION: This system is a wavelength multiple optical transmission system which is provided with one excitation laser 9 or a plurality of excitation lasers 9 injecting an optical power in an optical fiber transmission line of a transmission medium for a wavelength division multiplexed light signal, and generating a Raman distribution amplification action, an optical multiplexing means 5 which is arranged on the latter step of the above optical fiber transmission line and is used for injecting light sent out from the above laser 9 in the above optical fiber transmission line, a light branching means 2 which is arranged on the latter step of the above means 5 and takes out one part of a multiple wavelength light signal, and a gain control means which utilizes light taken out by the above means 2 to exercise a control of the output power of the above excitation laser 9 for the Raman distribution amplification action and exercises a constant control of the automatic output level of the above multitude wavelength light signal.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-15845

(P2001-15845A)

(43)公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 S 3/30		H 0 1 S 3/30	Z 2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 4 B 10/14		H 0 4 B 9/00	S 5 K 0 0 2
10/06			J
10/04			E

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平11-187965

(22)出願日 平成11年7月1日(1999.7.1)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 鈴木 裕生

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 高知尾 昇

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74)代理人 100083552

弁理士 秋田 収喜

最終頁に続く

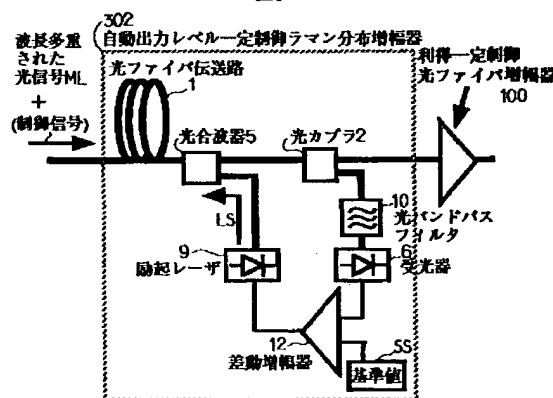
(54)【発明の名称】 ラマン分布増幅器を利用した波長多重光伝送システム

## (57)【要約】

【課題】 利得調整用の可変光アッテネータを使用せず、チャネル数変動、スパンロス変動に対処し、かつ利得平坦性を維持しつつ、極めて雑音特性のよい波長多重光伝送システムを得る。

【解決手段】 波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路中に光パワーを注入し、ラマン分布増幅作用を発生させる1つまたは複数の励起レーザと、前記光ファイバ伝送路の後段に配置され、前記励起レーザから送出された光を前記光ファイバ伝送路中に注入するための光合波手段と、前記光合波手段の後段に配置され、波長多重光信号の一部を取り出す光分岐手段と、前記光分岐手段により取り出された光を利用して、前記ラマン分布増幅器用励起レーザの出力パワーの制御を行い、前記波長多重光信号の自動出力レベル一定制御を行う利得制御手段を具備する波長多重光伝送システムである。

図 3



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長分割多重されて一本の光ファイバ中を伝搬する複数の光信号の増幅を行う光増幅器を備えた波長多重光伝送システムであって、前記光増幅器の一部あるいはすべてに、ラマン分布増幅器を利用し、前記ラマン分布増幅器は、前記波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路と、前記光ファイバ伝送路中に光パワーを注入し、ラマン分布増幅作用を発生させる同一の励起波長を有する1つまたは2つの励起レーザと、前記光ファイバ伝送路の後段に配置され、前記励起レーザから送出された光を前記光ファイバ伝送路中に注入するための光合波手段と、前記光合波手段の後段に配置され、波長多重光信号の一部を取り出す光分岐手段と、前記光分岐手段により取り出された光を利用して、前記ラマン分布増幅用励起レーザの出力パワーの制御を行い、前記波長多重光信号の自動出力レベル一定制御を行う利得制御手段を具備することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項2】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から所望の波長の光を取り出す光フィルタと、前記光フィルタにより取り出された光のパワーを検出する光強度検出手段と、前記光強度検出手段により得られた光パワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有することを特徴とする請求項1記載の波長多重光伝送システム。

【請求項3】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から光信号の波長数を検出する波長数検出手段と、前記光分岐手段により取り出された光から光信号のトータルパワーを検出する光強度検出手段と、前記波長数検出手段と前記光強度検出手段から得られた波長数とトータルパワーから1波長あたりの平均の光パワーを算出する演算手段と、前記演算手段により得られた平均光パワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有することを特徴とする請求項1記載の波長多重光伝送システム。

【請求項4】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から光信号の波長数を検出する波長数検出手段と、前記光分岐手段により取り出された光から光信号のトータルパワーを検出する光強度検出手段と、前記光強度検出手段から得られたトータルパワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段と、前記波長数検出手段により得られた波長数に応じて、前記帰還制御手段における所望のレベルを調整する調整手段を有することを特徴とする請求項1記載の波長多重光伝送システム。

【請求項5】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された波長多重光信号を各波長ごとに分波する光分波手段と、前記光分波手段より得られた各波長の

光信号のパワーを個別に検出する複数の光強度検出手段と、前記複数の光強度検出手段より得られた複数の検出信号のなかから最大の検出信号のみを選択する最大値選択手段と、前記最大値選択手段で選択された検出信号が所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有することを特徴とする請求項1記載のラマン分布増幅器。

【請求項6】 波長分割多重されて一本の光ファイバ中を伝搬する複数の光信号の増幅を行う光増幅器を備えた波長多重光伝送システムであって、前記光増幅器の一部あるいはすべてに、ラマン分布増幅器を使用し、前記ラマン分布増幅器は、前記波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路と、前記光波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路中に光パワーを注入し、ラマン分布増幅作用を発生させる異なる励起波長を有する複数の励起レーザと、前記複数の励起レーザより得られる波長の異なる光を合波する第2の光合波手段と、前記光ファイバ伝送路の後段に配置され、前記第2の光合波手段から送出された光を前記光ファイバ伝送路中に注入するための第1の光合波手段と、前記第1の光合波手段の後段に配置され、波長多重光信号の一部を取り出す光分岐手段と、前記光分岐手段により取り出された光を利用して、前記ラマン分布増幅用励起レーザの出力パワーの制御を行い、前記波長多重光信号の自動出力レベル一定制御を行う利得制御手段を具備することを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項7】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の検出信号を利用して $M$ 個( $M$ は2以上の自然数)のフィードバック制御信号を取り出し、それを用いて励起波長の異なる複数のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する複数の帰還制御手段を具備し、前記利得制御手段は、前記複数のラマン分布増幅用励起レーザにおいて、異なる励起波長数が $L$ 個( $L$ は2以上の自然数)のとき、検出信号数 $N$ 及びフィードバック制御信号数 $M$ は $N=M=L$ を満たすことを特徴とする請求項6記載の波長多重光伝送システム。

【請求項8】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の光パワーを $M$ 個( $M=N$ )のフィードバック制御信号とし、この $M$ 個のフィードバック制御信号のレベルがすべて設定した所望のレベルとなるように複数のラマン分布増幅用励起レーザを個別に制御する $L$ 個( $L=M=N$ )の帰還制御手段を有することを特

徴とする請求項7記載の波長多重光伝送システム。

【請求項9】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光の強度を個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の検出信号を利用してM個(Mは2以上の自然数)のフィードバック制御信号を取り出す制御信号発生手段と、前記制御信号発生手段より得られるM個のフィードバック制御信号を用いて励起波長の異なる複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する複数個の帰還制御手段を具備し、前記利得制御手段は、前記複数個のラマン分布増幅用励起レーザにおいて、異なる励起波長数がL個(Lは2以上の自然数)のとき、検出信号数N及びフィードバック制御信号数Mは $N > M = L$ を満たすことを特徴とする請求項6記載の波長多重光伝送システム。

【請求項10】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の光信号のトータルパワーと各波長領域内の光信号の波長数とを検出する1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段と、前記1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段で得られたトータルパワーと波長数から各波長領域内の1波長あたりの平均光パワーを算出する1つまたはM個の演算手段と、前記演算手段により得られたM個の各波長領域における平均光パワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個( $L = M$ )の帰還制御手段とを具備することを特徴とする請求項9記載の波長多重光伝送システム。

【請求項11】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の光信号のトータルパワーと各波長領域内の光信号の波長数とを検出する1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段と、前記トータルパワー・波長数検出手段で得られた各波長領域内の光信号のトータルパワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個( $L = M$ )の帰還制御手段と、前記1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段で得られた各波長領域内の光信号の波長数に応じ

て前記L個の帰還制御手段における所望のレベルを個別に調整する1つまたはL個の調整手段とを具備することを特徴とする請求項9記載の波長多重光伝送システム。

【請求項12】 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の最大の光パワーのみを選択する1つまたはM個の最大光パワー選択手段と、前記1つまたはM個の最大光パワー選択手段で得られたM個の各波長領域における最大光パワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個( $L = M$ )の帰還制御手段とを具備することを特徴とする請求項9記載の波長多重光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ラマン分布増幅器を利用した極めて低雑音の波長多重光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】希土類添加光ファイバ増幅器は、広く光通信システムで使用されている光増幅器である。波長多重光伝送システムにおいては、光ファイバを伝送され弱まった光信号は、光ファイバ増幅器において電気信号に変換することなく光信号のまま一括増幅され、次の伝送用光ファイバに送出される。一般にこのような光ファイバ増幅器には、所望の伝送品質を維持するため光信号の出力パワーを常に一定に保つ利得制御機能が備わっている。波長多重光伝送システムにおいては、中継ノードでのチャネルの分岐・挿入やノード障害等の理由で、光ファイバ増幅器を通過するチャネル数が変化することがあり得る。このようなチャネル数変動時においても信号の出力パワーは一定に保たなければならない。そこで、このような波長多重光伝送システムに適した利得制御方法として、トータルの入力パワーが変化しても利得を一定に保つ利得一定制御方法が提案されている。

【0003】その利得一定制御光ファイバ増幅器の一例の模式図を図20に示す。図20において、100は利得一定制御光ファイバ増幅器、1A、1Bは光ファイバ伝送路、2A、2Bは光カプラ、3A、3Bは光アイソレータ、4は希土類添加光ファイバ、5は光合波器、6A、6Bは受光器、7は対数演算器、8は比較器、9は励起レーザ、MLは波長多重された光信号、LSはレーザ光、SSは基準値である。

【0004】前記図20の構成では、入力のパワーと出力のパワーをモニターし、その比が一定となるように励起レーザのパワーを制御することで、

チャンネル数変動時においても信号利得（信号の入力レベルに対する出力レベルの比）を常に一定に保つことができる。このとき光ファイバ増幅器から出力されるチャンネルあたりの出力レベルはチャンネル数によらず一定となる。

【0005】一方、実際に現場に敷設されている光ファイバにおいては、中継間隔の違いやファイバ接続時のロスばらつき、経年変化等の理由により、その損失値（スパンロス）は必ずしも一定ではない。図20の構成では、ある所定の利得しか得られないために、このようなスパンロス変動に伴い、光ファイバ増幅器から出力される光信号のチャンネルあたりの出力レベルもまた変動してしまう。従って、チャンネル数変動だけでなく、スパンロス変動をも補償し、常に出力レベルを一定に保つ利得制御方法も提案されている。図21及び図22にその例を示す。

【0006】図21は、従来の波長多重光信号の出力レベル一定制御光ファイバ増幅器200の模式図である。光バンドパスフィルタ10で、ある波長の信号光のみを取り出し、そのパワーをモニターして、その値が常に一定となるよう励起レーザのパワーを制御する。この方法は、チャンネル数変動及びスパンロス変動の両者に対処可能である（チャンネルあたりの出力レベルを一定に保つことができる）が、光ファイバ増幅器の利得変化に伴い、利得平坦性（利得の波長依存性）が大きく変化してしまうという問題がある。システム設計は所定の利得平坦性をもとになされており、この値が大きく変わると、光増幅器を多段に接続した多中継の波長多重光伝送システムにおいては、設計状態からのずれが累積し、光信号が正しく伝送されなくなる。図22にこのような問題を解決する制御方法の一例を示す。図22において、2A、2B、2Cは光カプラ、11は可変光アッテネータ、12は差動増幅器である。

【0007】基本構成は図20に示した利得一定制御された光ファイバ増幅器と可変光アッテネータ、そして可変光アッテネータのフィードバック制御回路からなる。フィードバック制御回路は図21と同様の構成であり、光バンドパスフィルタ10である信号光のみを取り出し、そのパワーをモニターして、その値が常に一定となるよう可変光アッテネータ11の減衰量を制御する。励起レーザのパワーではなく可変アッテネータの減衰量を変化させることで利得を調整しているので、チャンネル数変動及びスパンロス変動に対しても出力レベルを一定に保つことができ、かつ、光ファイバ増幅器での利得は変わらないため利得平坦性も維持される。一般にこのような利得制御を行った場合には、可変光アッテネータによる過剰損を補償して所望の出力パワーを得るため、図23に示したように、利得一定制御光増幅器（光ファイバ増幅器）を2段接続し、その中段に可変光アッテネータを配置する構成をとる。光カプラは、図24に示したよ

うに、後段の利得一定制御光ファイバ増幅器の後に配置することもある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】前記図23及び図24の構成では、利得調整用の可変光アッテネータを中段に予め挿入しているため、これが過剰損となり波長多重光伝送システムの雑音特性が低下するという問題があった。

【0009】また、通常、これらの光ファイバ増幅器は、多段に接続されて光伝送システムを構築しており、可変光アッテネータのもつ偏波依存性、波長依存性等により設計値からのずれが次第に累積していくという問題もあった。従って、こうした光部品はなるべく伝送路中に挿入されないことが、システム設計上からは望ましいが、前述したように利得調整用の可変光アッテネータを使用せず、光ファイバ増幅器の利得調整を行おうとすると、利得平坦性を小さく抑えることができないという問題があった。

【0010】本発明の目的は、ラマン分布増幅器に自動出力レベル一定制御を施すことにより、利得調整用の可変光アッテネータを使用せず、チャンネル数変動、スパンロス変動等の変動に対処し、かつ利得平坦性を維持できる、極めて雑音特性のよい波長多重光伝送システムを提供することにある。

【0011】本発明の前記ならびにその他の目的及び新規な特徴は、本明細書の記載及び添付図面によって明らかにする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

【0013】（1）波長分割多重されて一本の光ファイバ中を伝搬する複数の光信号の増幅を行う光増幅器を備えた波長多重光伝送システムであって、前記光増幅器の一部あるいはすべてに、ラマン分布増幅器を利用し、前記ラマン分布増幅器は、前記波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路と、前記光ファイバ伝送路中に光パワーを注入し、ラマン分布増幅作用を発生させる同一の励起波長を有する1つまたは2つの励起レーザと、前記光ファイバ伝送路の後段に配置され、前記励起レーザから送出された光を前記光ファイバ伝送路中に注入するための光合波手段と、前記光合波手段の後段に配置され、波長多重光信号の一部を取り出す光分岐手段と、前記光分岐手段により取り出された光を利用して、前記ラマン分布増幅用励起レーザの出力パワーの制御を行い、前記波長多重光信号の自動出力レベル一定制御を行う利得制御手段を具備する。

【0014】（2）前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から所望の波長の光を取り出す光フィルタと、前記光フィルタにより取り出された光の

パワーを検出する光強度検出手段と、前記光強度検出手段により得られた光パワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有する。

【0015】(3) 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から光信号の波長数を検出する波長数検出手段と、前記光分岐手段により取り出された光から光信号のトータルパワーを検出する光強度検出手段と、前記波長数検出手段と前記光強度検出手段から得られた波長数とトータルパワーから1波長あたりの平均の光パワーを算出する演算手段と、前記演算手段により得られた平均光パワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有する。

【0016】(4) 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から光信号の波長数を検出する波長数検出手段と、前記光分岐手段により取り出された光から光信号のトータルパワーを検出する光強度検出手段と、前記光強度検出手段から得られたトータルパワーが所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段と、前記波長数検出手段により得られた波長数に応じて、前記帰還制御手段における所望のレベルを調整する調整手段を有する。

【0017】(5) 前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された波長多重光信号を各波長ごとに分波する光分波手段と、前記光分波手段より得られた各波長の光信号のパワーを個別に検出する複数の光強度検出手段と、前記複数の光強度検出手段より得られた複数の検出信号のなかから最大の検出信号のみを選択する最大値選択手段と、前記最大値選択手段で選択された検出信号が所望のレベルとなるようにラマン分布増幅用励起レーザのパワーを制御する帰還制御手段を有する。

【0018】(6) 波長分割多重されて一本の光ファイバ中を伝搬する複数の光信号の増幅を行う光増幅器を備えた波長多重光伝送システムであって、前記光増幅器の一部あるいはすべてに、ラマン分布増幅器を使用し、前記ラマン分布増幅器は、前記波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路と、前記光波長分割多重された光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路中に光パワーを注入し、ラマン分布増幅作用を発生させる異なる励起波長を有する複数の励起レーザと、前記複数の励起レーザより得られる波長の異なる光を合波する第2の光合波手段と、前記光ファイバ伝送路の後段に配置され、前記第2の光合波手段から送出された光を前記光ファイバ伝送路中に注入するための第1の光合波手段と、前記第1の光合波手段の後段に配置され、波長多重光信号の一部を取り出す光分岐手段と、前記光分岐手段により取り出された光を利用して、前記ラマン分布増幅用励起レーザの出力パワーの制御を行い、前記波長多重光信号の自動出力レベル一定制御を行う利得制御手段

を具備する。

【0019】(7) 前記手段6の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の検出信号を利用して $M$ 個( $M$ は2以上の自然数)のフィードバック制御信号を取り出し、それを用いて励起波長の異なる複数の励起レーザのパワーを制御する複数の帰還制御手段を具備し、前記利得制御手段は、前記複数の励起レーザにおいて、異なる励起波長数が $L$ 個( $L$ は2以上の自然数)のとき、検出信号数 $N$ 及びフィードバック制御信号数 $M$ は $N=M=L$ を満たす。

【0020】(8) 前記手段7の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の光パワーを $M$ 個( $M=N$ )のフィードバック制御信号とし、この $M$ 個のフィードバック制御信号のレベルがすべて設定した所望のレベルとなるように複数の励起レーザを個別に制御する $L$ 個( $L=M=N$ )の帰還制御手段を有する。

【0021】(9) 前記手段6の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光の強度を個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の検出信号を利用して $M$ 個( $M$ は2以上の自然数)のフィードバック制御信号を取り出す制御信号発生手段と、前記制御信号発生手段より得られる $M$ 個のフィードバック制御信号を用いて励起波長の異なる複数の励起レーザのパワーを制御する複数の帰還制御手段を具備し、前記利得制御手段は、前記複数の励起レーザにおいて、異なる励起波長数が $L$ 個( $L$ は2以上の自然数)のとき、検出信号数 $N$ 及びフィードバック制御信号数 $M$ は $N>M=L$ を満たす。

【0022】(10) 前記手段9の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光から $N$ 個( $N$ は2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出する $N$ 個の光強度検出手段と、前記 $N$ 個の光強度検出手段により得られた $N$ 個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の光信号のトータルパワ

一と各波長領域内の光信号の波長数とを検出する1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段と、前記1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段で得られたトータルパワーと波長数から各波長領域内の1波長あたりの平均光パワーを算出する1つまたはM個の演算手段と、前記演算手段により得られたM個の各波長領域における平均光パワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個(L=M)の帰還制御手段とを具備する。

【0023】(11)前記手段9の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の光信号のトータルパワーと各波長領域内の光信号の波長数とを検出する1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段と、前記トータルパワー・波長数検出手段で得られた各波長領域内の光信号のトータルパワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個(L=M)の帰還制御手段と、前記1つまたはM個のトータルパワー・波長数検出手段で得られた各波長領域内の光信号の波長数に応じて前記L個の帰還制御手段における所望のレベルを個別に調整する1つまたはL個の調整手段とを具備する。

【0024】(12)前記手段9の波長多重光伝送システムにおいて、前記利得制御手段は、前記光分岐手段により取り出された光からN個(Nは2以上の自然数)のある所望の波長の光を取り出す光分波手段と、前記光分波手段により取り出された光のパワーを個別に検出するN個の光強度検出手段と、前記N個の光強度検出手段により得られたN個の光パワーから、ある所定の異なる波長領域において、各波長領域内の最大の光パワーのみを選択する1つまたはM個の最大光パワー選択手段と、前記1つまたはM個の最大光パワー選択手段で得られたM個の各波長領域における最大光パワーがすべて設定した所望のレベルとなるように複数個のラマン分布増幅用励起レーザのパワーを個別に制御するL個(L=M)の帰還制御手段とを具備する。

【0025】すなわち、本発明の波長多重光伝送システムは、ラマン分布増幅器を利用したことを第1の特徴とする。

【0026】本発明に係るラマン分布増幅器の従来の構成を図1及び図2に示す。図1及び図2において、300は従来のラマン分布増幅器、301は従来の利得安定化ラマン分布増幅器、1は光ファイバ伝送路、5は光合波器、6は受光器、9は励起レーザ、9Mはレーザ駆動

回路、12は差動増幅器(駆動回路)、MLは波長多重された光信号、LSはレーザ光、SSは基準値である。

【0027】ラマン分布増幅とは、図1に示すように、光ファイバ伝送路1中に励起光を注入することで、光ファイバ伝送路1を増幅媒体としても利用し、光信号の増幅を分布的に行う技術である。このラマン分布増幅器300の利点は、前述した光ファイバ増幅器にくらべ、はるかに低雑音であることである。従って、従来の光ファイバ増幅器(利得一定制御光ファイバ増幅器)100を用いるより、ラマン分布増幅器300を用いた方が、はるかに雑音特性がよい波長多重光伝送システムを構築できる。

【0028】本発明の第2の特徴は、ラマン分布増幅器300に自動出力レベル一定制御を施すことである。ラマン分布増幅器300の利得は、励起レーザ9のパワーに比例するので、一般には、図2に示すように、励起レーザ9のパワーをモニタし、そのパワーを一定に保つことで一定利得の利得安定化ラマン分布増幅器301を構築できる。しかしながら、実際に得られる利得は、励起レーザ9のスペクトル形状や光ファイバ伝送路長、光ファイバのコア径のばらつきなどにも大きく依存するため、ただ単に、図2に示すように、励起パワーをある基準値に設定しても必ずしも同じ利得が得られるとは限らない。また、システム導入時に所望の利得が得られるように基準値を設定したとしても、伝送路の温度変化や経年変化あるいは曲げ等による動的なロス変動には対処できない。

【0029】本発明では、波長多重光信号の出力レベルをモニタし、ラマン分布増幅器の励起レーザ9の出力パワーに帰還制御することにより、このような変動を自動的に補償し、常に所望の光信号出力を得る波長多重光伝送システムを構築できる。これは、ラマン分布増幅器が、光ファイバ増幅器に比べて広い利得帯域を持ち、励起レーザ9の出力パワーを変えて利得を変動させても利得平坦性がほぼ一定に保たれるという光ファイバ増幅器にはない特徴を有効に利用するものである(参考文献: Hansenら, "Capacity upgrades of transmission systems by Raman amplification," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, no. 2, 1997, pp. 262-264.)。

【0030】また、出力レベルが一定になるように制御するので、光ファイバ増幅器の従来例で述べた可変光アッテネータは必要なく、これによる雑音特性の劣化も回避できる。

【0031】このように、ラマン分布増幅器に自動出力レベル一定制御を施すことで、利得平坦性を維持しつつ、利得調整用の可変光アッテネータを使用せず、チャネル数変動、スパンロス変動に対処し、極めて雑音特性のよい波長多重光伝送システムを構築することが可能となる。また、ラマン分布増幅器は励起光源の波長により、利得帯域を自由に選択できるという特徴も持つ。



11

【0032】以下、本発明について、図面を参照して、実施形態（実施例）とともに詳細に説明する。

【0033】なお、実施形態（実施例）を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0034】

【発明の実施の形態】（実施形態1）図3乃至図6は、本発明による実施形態1の波長多重光伝送システムに用いる自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。図3乃至図6において、100は利得一定制御光ファイバ増幅器、302は自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器（ラマン分布増幅器）、1は光ファイバ伝送路、2は光カプラ、5は光合波器、6は受光器、9、9A、9Bは励起レーザ、10は光バンドパスフィルタ、12は差動増幅器、13は利得等化器、14は偏波合成モジュール、MLは波長多重された光信号、LSはレーザ光、SSは基準値である。

【0035】図3に示すように、本実施形態1の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器302は、光ファイバ伝送路1、光カプラ2、光合波器5、受光器6、励起レーザ9、光バンドパスフィルタ10、及び差動増幅器12で構成されている。

【0036】図3において、光ファイバ伝送路1を通ってきた波長多重された光信号MLは、光カプラ2により取り出され、光バンドパスフィルタ10で導かれる。光バンドパスフィルタ10で所望の波長の光信号を抜き出し、受光器6でそのパワーを検出する。検出された値と基準値SSとの差を差動増幅器12で検出し、その差が零（0）となるように励起レーザ9のパワーを制御してラマン分布増幅器の利得を変化させる。この構成により、光ファイバ伝送路長、コア径のばらつき、及び温度変化等に依存せず、光バンドパスフィルタ10で抜き出した所望の波長の光信号の出力レベルを常に一定に保つことができる。

【0037】また、ラマン分布増幅器は、励起レーザ9のパワーを変化させて利得を変動させても、利得平坦性はほぼ一定であるという光ファイバ増幅器にない特徴をもつので、このような帰還制御を行っても利得平坦性を維持できる。

【0038】波長多重された光信号MLの他に制御信号をも同時に伝送して、その制御信号を光バンドパスフィルタ10で抜き出して励起レーザ9の制御を行ってもよい。また、光バンドパスフィルタ10は、所望の波長の光信号を取り出せる構成であれば何でもよく、例えば、図7に示すように、サーキュレータ21とファイバグレイティング22を組み合わせる構成してもよい。

【0039】図3では、自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器302と利得一定制御光ファイバ増幅器100の2段構成となっており、前述した光カプラ2は、励起パワーを光ファイバ伝送路1に注入する光合波器5

12

と、利得一定制御光ファイバ増幅器100との間に位置しているが、図4に示すように、利得一定制御光ファイバ増幅器100の後段に配置してもよい。また、図5に示すように、利得等化器13を用いて、利得平坦性の向上を図ってもよい。また、高出力パワーをもつ励起レーザ9を使用して、光ファイバ伝送路1のロスと、自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器302の利得が等しくできれば、後段の利得一定制御光ファイバ増幅器100を取り除いて、ラマン分布増幅器のみを利用した波長多重光伝送システムを構築してもよい。

【0040】また、高い励起パワーを得る1つの手段として励起レーザ2つを偏波多重した場合にも、同一の励起波長であれば、なんら制御回路は変更することなく、図6に示すように、1つの差動増幅器12から得られた値が零（0）となるよう2つの励起レーザ9A、9Bのパワーを制御すればよい。

【0041】これより以下の実施形態においても、特に、ことわりがない場合には、光カプラ2の位置はどちらでもよく、また、利得等化器13を用いてもよく、また、自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器302の利得が十分に大きいときは、後段の利得一定制御光ファイバ増幅器100を取り除いてもよく、また、同一の励起波長をもつ励起レーザ2つを偏波多重した場合にも、なんら制御回路は変更することなく1つの差動増幅器12から得られた値が零（0）となるよう2つの励起レーザ9A、9Bのパワーを制御すればよい。

【0042】（実施形態2）図8は、本発明による実施形態2の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【0043】図8に示すように、本実施形態2の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器（ラマン分布増幅器）303は、光ファイバ伝送路1、光カプラ2A、2B、光合波器5、受光器6、励起レーザ9、差動増幅器12、波長数検出回路14、及び割り算器16で構成されている。前記光カプラ2B、受光器6、及び波長数検出回路14でトータルパワー・波長数検出手段15を構成している。

【0044】図8において、光カプラ2Aにより取り出された光信号は、光カプラ2Bで再度分岐され、一方をトータルパワー・波長数検出手段15の受光器6に、他方を波長数検出回路14に導き、それぞれトータルの光信号パワー $P_{sig}$ と波長数 $n$ を検出する。割り算器16によりチャンネルあたりの平均の光信号パワー $P_{sig}/n$ を算出し、その値が常に一定となるよう励起レーザ9を制御する。従ってこの構成により、チャンネルあたりの平均光信号パワーを常に一定に保つことができる。

【0045】前記トータルパワー・波長数検出手段15は、なんらこの構成に限定されるものではなく、光スペクトラムアナライザ等を用いて実現してもよいことは勿論である。

【0046】(実施形態3)図9は、本発明による実施形態3の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【0047】図9に示すように、本実施形態3の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器(ラマン分布増幅器)304は、光ファイバ伝送路1、光カプラ2A、2B、光合波器5、受光器6、励起レーザ9、差動増幅器12、波長数検出回路14A、スイッチ17、及びメモリ18で構成されている。前記光カプラ2B、受光器6、及び波長数検出回路14Aでトータルパワー・波長数検出手段15を構成している。

【0048】図9において、トータルパワー・波長数検出手段15は、前記実施形態2と同じであるが、その検出値の利用方法が異なる。検出されたトータルパワーは、差動増幅器12に導かれ、その値が一定となるよう励起レーザ9のパワーが制御される。その際、例えば、波長数 $n$ が半分になったとき、チャンネルあたりの平均光信号パワーを一定とするためには、トータルの光パワーも半分にしなければならない。このことは、波長数 $n$ に応じて差動増幅器12で参照する基準値が異なることを意味する。

【0049】本実施形態3では、予めメモリ18(メモリエリアA1、A2、…、An)に波長数に応じた基準値SSを記憶させておき、検出した波長数に応じてスイッチ17を切り替え波長数に応じた(チャンネルあたりの出力パワーが一定となるような)基準値SSを読み出す構成となっている。このような構成により、前記実施形態2と同様、チャンネルあたりの平均光信号パワーを常に一定に保つことができる。

【0050】前記トータルパワー・波長数検出手段15は、なんらこの構成に限定されるものではなく、光スペクトラムアナライザ等を用いて実現してもよいことは勿論である。

【0051】(実施形態4)図10は、本発明による実施形態4の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【0052】図10に示すように、本実施形態4の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器(ラマン分布増幅器)305は、光ファイバ伝送路1、光カプラ2、光合波器5、受光器6A1、…、6An、励起レーザ9、差動増幅器12、光分波器19、最大光パワー選択回路20で構成されている。

【0053】図10において、光カプラ2により取り出された波長多重光信号は、各波長に分波され、受光器6A1、…、6Anによりそれぞれの光パワーが検出される。最大光パワー選択回路20では、検出された光パワーのなかから最も大きい値のみを選択する。選択された最大値と基準値SS(光ファイバ増幅器での所望の出力パワーに対応)との差分を差動増幅器12で検出し、その差分が零(0)となるように励起レーザ9のパワーを制

御する。この方法を採用することにより、波長多重光信号の最大パワーを常に一定に保つことができる。

【0054】(実施形態5)図11は、本発明による実施形態5の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図、図12は本実施形態5により実現される多波長励起ラマン分布増幅器の利得プロファイル及び利得の制御方法を模式的に表した図である。

【0055】図11に示すように、本実施形態5の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器(ラマン分布増幅器)306は、光ファイバ伝送路1、光カプラ2、光合波器5A、5B、受光器6A、6B、励起レーザ9A、9B、差動増幅器12A、12B、光分波器19で構成されている。

【0056】図11に示すように、本実施形態5の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器(ラマン分布増幅器)306が、前記実施形態1~4と大きく異なっているのは、複数の励起波長の異なる励起レーザ9A、9Bを具備し、それらの波長の異なる複数の励起レーザ9A、9Bのパワーを個別に制御している点である。

【0057】一般に、ラマン分布増幅器の大きな特徴の1つとして、利得帯域を任意に選択できること、すなわち励起波長から約100nm離れた長波長側に利得のピークが現れることがある。従って、多波長で励起したときの利得プロファイルを模式的に表すと、図12のようになる。図12では一例として励起波長数を2とし、励起中心波長が10nm離れている場合を想定した。このような多波長励起のラマン分布増幅器の利得制御方法を図11及び図12を用いて以下に説明する。

【0058】ここでは、一例として $N=M=L=2$ の場合について説明する。ここで、 $N$ は波長多重光信号のなかから利得制御を行うためにモニタされる光信号の数(検出信号数)であり、 $M$ は実際に励起レーザへのフィードバック信号として利用するフィードバック制御信号数であり、 $L$ は励起レーザの励起波長数である( $N$ 、 $M$ 、 $L$ は2以上の自然数)。図11に示すように、光カプラ2により分岐された波長多重光信号は、光分波器19に導かれ、そこで2つの光信号(波長 $\lambda_{a1}$ 、 $\lambda_{a2}$ )が取り出される。

【0059】前記波長 $\lambda_{a1}$ の光信号は、励起レーザ9Aによる利得プロファイルのピーク付近に位置しており、一方、波長 $\lambda_{a2}$ の光信号は励起レーザ9Bによる利得プロファイルのピーク付近に位置している(図12参照)。取り出された波長 $\lambda_{a1}$ 、 $\lambda_{a2}$ の光信号の強度は、2つの受光器6A、6Bによって個別に検出される。これら検出された2つの値と基準値SS1、SS2との差をそれぞれ2つの差動増幅器12A、12Bとで検出し、その差が零(0)となるように励起レーザ9Aと9Bのパワーをそれぞれ独立に制御する。

【0060】この構成により、多波長で励起した場合にも利得平坦性を維持しつつ波長 $\lambda_{a1}$ 、 $\lambda_{a2}$ の光信号

の出力レベルを常に一定に保つことができる。

【0061】前記光分波器19としては、所望の波長を抜き出せるものであれば何でもよく、例えば、図13に示すように、サーキュレータ21A、21Bとファイバグレーティング22A、22Bを組み合わせて構成してもよい。

【0062】また、図11乃至図13では、 $N=M=L=2$ の場合について述べたが、なんらこれに限定されることなく、図14に示すように、 $N=M=L=k$  ( $k$ は3以上の自然数)の場合にも拡張できる。図11乃至図13と異なる点は、前記光分波器19で $k$ 個の波長の光を取り出している点と、受光器、差動増幅器、励起レーザをそれぞれ $k$ 個具備している点であり、動作原理は同じである。

【0063】勿論、前記光分波器19は $k$ 個の所望の波長を取り出せるものであればなんでもよく、 $k$ 個のサーキュレータと $k$ 個のファイバグレーティングを用いて構成してもよい。また、図15に示したように、励起パワーの向上のために励起レーザの波長多重だけでなく、前記実施形態1で述べたように、同一励起波長をもつ2つの励起レーザの偏波多重を加える構成もあり得る。このような場合にも、前記実施形態1で述べたように、なんら制御回路は変更することなく、同一励起波長をもつ2つの励起レーザを1つの差動増幅器で駆動、制御することができる。図15は $N=M=L=k$ の場合にも拡張できることは勿論である。

【0064】(実施形態6) 図16は、本発明による実施形態6の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【0065】本実施形態6の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器309が、前記実施形態5と異なるのは、前述した検出信号数 $N$ とフィードバック制御信号数 $M$ 、励起波長数 $L$ の関係が $N=M=L$ ではなく、 $N>M=L$ となる点である。つまり、各励起レーザ9A、9B、...、9Lのパワーを制御するためのフィードバック制御信号をそれぞれ1つずつ得るために、それぞれ複数個の光信号を利用している点が大きな特徴である。

【0066】図17は、 $L$ 個の励起レーザによるラマン分布増幅器の利得プロファイル及び利得の制御方法の模式図である。図17において、励起レーザ9A、9B、...、9Lのそれぞれのフィードバック制御信号を得るために、それぞれ $i, j, \dots, k$ 個 ( $i, j, k$ は自然数)の光信号を利用する場合について模式的に示した。 $i, j, \dots, k$ はどれか1つが2以上であれば $N>M$ を満たす(すべて1の場合は実施形態5に相当する)。

【0067】図17において、検出する光信号は重なっていない場合を想定しているが、必要があれば重複してもかまわない。また、すべての光信号を使う必要は必ずしもない。図16で示した方法は、基本的には前記実施

形態2に示した方法を利用している。光カプラ2により分岐された波長多重光信号は、光分波器19により複数個の所望の波長の光に分波される。取り出された各波長の光のパワーを受光器6A1、...、6Ai、6B1、...、6Bj、6L1、...、6Lkで個別に検出する。

【0068】励起レーザ9Aを制御するためのフィードバック制御信号を得るために、トータルパワー・波長数検出手段15Aでは、受光器6A1から6Aiで得られたそれぞれの光のパワーから、その合計であるトータルパワー及び $i$ 個の受光器6A1、...、6Aiのうちの何個に光信号が入力されているか(波長数)を算出する。割り算器16Aでそのトータルパワーを波長数で割った平均のパワーを算出し、その値が一定となるよう差動増幅器12Aで励起レーザ9Aを駆動し、制御する。

【0069】他の励起レーザ9B、...、9Lについても、それぞれ $j, \dots, k$ 個の受光器を使用して同様の制御を行う。このような手段により、多波長励起の場合においても、単一波長励起の場合とほぼ同様の、平均の光信号パワーが一定となる自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器309を実現することができる。また、図15で説明したように、同一の励起波長をもつ励起レーザを偏波多重してつけ加えることもでき、偏波多重される2つの励起レーザに対しては1つの差動増幅器で制御する構成をとっても勿論よい。

【0070】図16は、トータルパワー・波長数検出手段及び割り算器をそれぞれ $L(=M)$ 個使用する場合について示したが、トータルパワー・波長数検出手段及び割り算器を共有化することにより、1つのトータルパワー・波長数検出手段と1つの割り算器で同様の機能を実現するような構成でも勿論よい。

【0071】(実施形態7) 図18は、本発明による実施形態7の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図であり、15A、15B、...、15Lはトータルパワー・波長数検出手段、17A、17B、...、17Lはスイッチ、18A、18B、...、18Lはメモリ、310は本実施形態7の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器である。

【0072】本実施形態7も $N>M=L$ となる場合についてであり、前記実施形態6と同様の、平均光信号パワーを一定に保つ制御方法の一実現手段に関するものである。本実施形態7の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器310は、トータルパワーと波長数を検出するところまでは、前記実施形態6と全く同じであり、その2つの値の利用方法が異なる。ここで述べる方法は基本的には、前記実施形態3を適用しており、波長数に応じてスイッチ17A、...、17Lを切り替え基準値を変化させる構成となっている点が前記実施形態6と異なっている。

【0073】このように波長数に応じて基準値を変化させることにより、波長数が変化した場合にも前記実施

態6と同様の、平均の光信号パワーが一定となる自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器310を実現することができる。また、前記図15で説明したように、同一の励起波長をもつ励起レーザを偏波多重してつけ加えることもでき、偏波多重される2つの励起レーザに対しては1つの差動増幅器で制御する構成をとっても勿論よい。

【0074】図18は、トータルパワー・波長数検出手段、スイッチ及びメモリをそれぞれL(=M)個使用する場合について示したが、これらを共有化することにより、1つのトータルパワー・波長数検出手段、1つのスイッチ及び1つのメモリで同様の機能を実現するような構成でも勿論よい。

【0075】(実施形態8)図19は、本発明による実施形態8の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図であり、6A1, ..., 6Ai, 6B1, ..., 6Bj, 6L1, ..., 6Lkは受光器、9A, 9B, ..., 9Lは励起レーザ、12A, 12B, ..., 12Lは差動増幅器、20A, 20B, ..., 20Lは最大光パワー選択回路である。

【0076】図19を用いて本実施形態8の制御の原理を説明する。ここで示した方法は基本的には、前記実施形態4に述べた最大の光信号パワーを一定に保つ方法を応用している。光カプラ2により分岐された波長多重光信号は、光分波器19により複数の所望の波長の光に分波される。取り出された各波長の光のパワーを受光器6A1, ..., 6Ai, 6B1, ..., 6Bj, 6L1, ..., 6Lkで個別に検出する。励起レーザ9Aを制御するためのフィードバック制御信号を得るために、励起レーザ9Aによる利得プロファイルのピーク付近のi個の波長の中から(前記図17参照)、最大光パワー選択回路20Aにより受光器6A1, ..., 6Aiで検出された光パワーの中から最大の光パワーのみを取り出す。その値をフィードバック制御信号として差動増幅器12Aに導き、その値が一定となるように励起レーザ9Aを制御する。他の励起レーザ9B, ..., 9Lについても同様に、それぞれの励起レーザによる利得プロファイルのピーク付近のj, ..., k個の波長の中から、各最大光パワー選択回路20B, ..., 20Lにより、最大の光パワーのみをそれぞれの励起レーザ9B, ..., 9Lの制御信号として取り出す。そして、その制御信号を各差動増幅器12B, ..., 12Lに導き、その値が一定となるように各励起レーザ9B, ..., 9Lを制御する。このような手段により、多波長励起の場合においても、単一波長励起の場合と同様の、最大の光信号パワーを一定に保つラマン分布増幅器を実現することができる。

【0077】また、前記図15で説明したように、同一の励起波長をもつ励起レーザを偏波多重してつけ加えることもでき、偏波多重される2つの励起レーザに対して

は1つの差動増幅器で制御する構成をとってもよい。

【0078】図19は、最大光パワー選択回路をL(=M)個使用する場合について示したが、これを共有化することにより、1つの最大光パワー選択回路で同様の機能を実現するような構成でも勿論よい。

【0079】以上、本発明について実施形態(実施例)に基づいて具体的に説明したが、本発明は前記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更し得ることは勿論である。

10 【0080】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すると以下のとおりである。

【0081】(1)ラマン分布増幅器を波長多重光伝送システムに適用することにより、ラマン分布増幅器を用いない従来の光ファイバ増幅器からなる波長多重光伝送システムに比べ、はるかに雑音特性の優れた波長多重光伝送システムを構築することができる。

20 【0082】(2)ラマン分布増幅器に利得制御を施すことにより、チャネル数変動、スパンロス変動等の変動を補償できるので、常に一定の光信号出力が得られる波長多重光伝送システムを構築することができる。

30 【0083】(3)ラマン分布増幅器は、利得を変動させても利得平坦性がほぼ一定に保たれるという従来の光ファイバ増幅器にはない特徴をもつので、ラマン分布増幅器に、波長多重信号をモニタして励起レーザのパワーを制御する自動出力レベル一定制御を施すことにより、従来必要であった利得調整用の可変光アッテネータを削減することができ、これによる雑音特性の劣化が回避できる。また、可変光アッテネータを削減することで、可変光アッテネータのもつ偏波依存性や波長依存性等を考慮しなくてすみ、システム設計上からも望ましい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る従来のラマン分布増幅器の構成を示す模式図である。

【図2】本発明に係る従来のラマン分布増幅器の別の構成を示す模式図である。

40 【図3】本発明による実施形態1の波長多重光伝送システムに利用する自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図4】本実施形態1の別の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図5】本実施形態1の別の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図6】本実施形態1の別の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図7】本実施形態1の光バンドパスフィルタの例を示す図である。

50 【図8】本発明による実施形態2の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図9】本発明による実施形態3の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図10】本発明による実施形態4の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図11】本発明による実施形態5の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図12】本実施形態5の多波長で励起したときの利得のプロファイルと利得の制御方法を模式的に表した図である。

【図13】本実施形態5の光分波器としてサーキュレータとファイバグレーティングを組み合わせた構成を示す図である。

【図14】本発明による実施形態5の別の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図15】本発明による実施形態5の別の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図16】本発明による実施形態6の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図17】本実施形態6、7、8のL個の励起レーザによるラマン分布増幅器の利得プロファイルと利得の制御方法を模式的に表した図である。

【図18】本発明による実施形態7の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図19】本発明による実施形態8の自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図20】従来の波長多重光伝送システムに用いる光フ

ァイバ増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図21】従来の波長多重光伝送システムに用いる別の光ファイバ増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図22】従来の波長多重光伝送システムに用いる別の光ファイバ増幅器の概略構成を示す模式図である。

【図23】従来の波長多重光伝送システムに用いる別の光ファイバ増幅器の概略構成を示す模式図である。

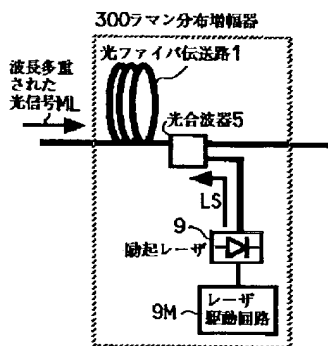
【図24】従来の波長多重光伝送システムに用いる別の光ファイバ増幅器の概略構成を示す模式図である。

【符号の説明】

100…利得一定制御光増幅器、300…ラマン分布増幅器、301…利得安定化ラマン分布増幅器、302…自動出力レベル一定制御ラマン分布増幅器、1、1A、1B…光ファイバ伝送路、2、2A、2B…光カプラ、3A、3B…光アイソレータ、4…希土類添加光ファイバ、5、5A、5B…光合波器、6、6A、6A1、6Ai、6An、6B、6B1、6Bj、6K、6L1、6Lk…受光器、7…対数演算器、8…比較器、9、9A、9B、9A'、9B'、9K、9L…励起レーザ、9M…レーザ駆動回路、10…光バンドパスフィルタ、11…可変光アッテネータ、12、12A、12B、12K、12L…差動増幅器、13…利得等化器、14、14A…波長数検出回路、15、15A、15B、15L…トータルパワー・波長数検出手段、16、16A、16B、16L…割り算器、17、17A、17B…17L…スイッチ、18、18A～18L…メモリ、19…光分波器、20、20A、20B、20L…最大光パワー選択回路、21、21A、21B…サーキュレータ、22、22A、22B…ファイバグレーティング、23、23A、23B…偏波合成モジュール、ML…波長多重された光信号、LS…レーザ光、SS、SS1、SS2、SSK、SSL…基準値。

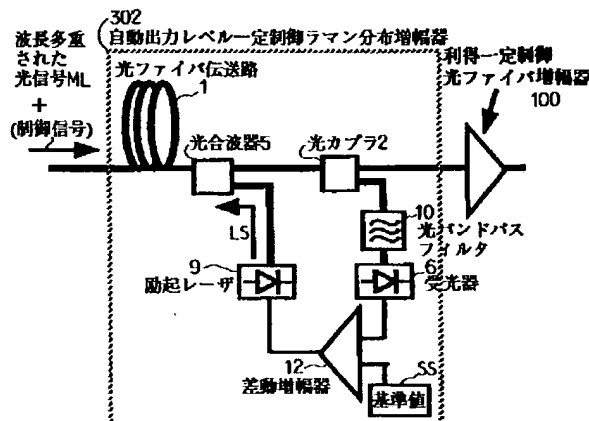
【図1】

図1



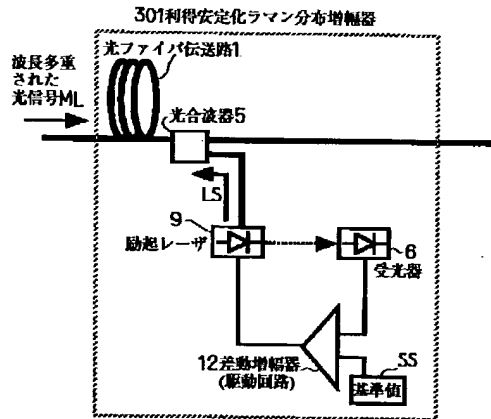
【図3】

図3



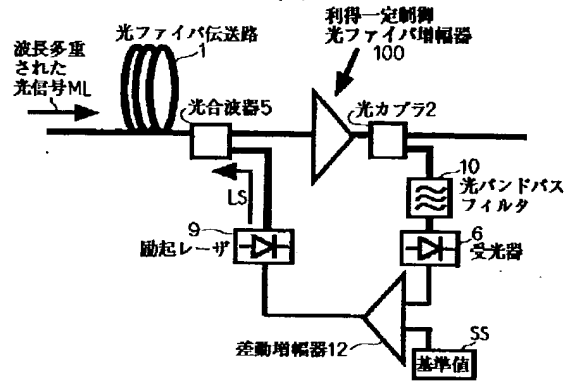
【図2】

図2



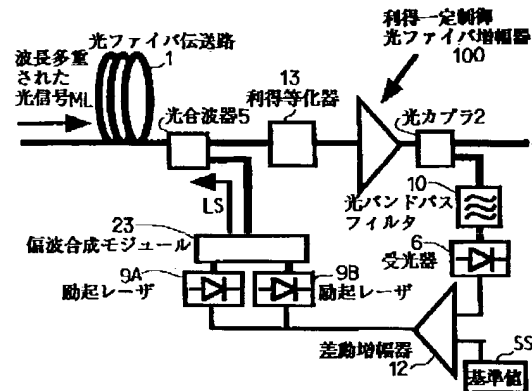
【図4】

図4



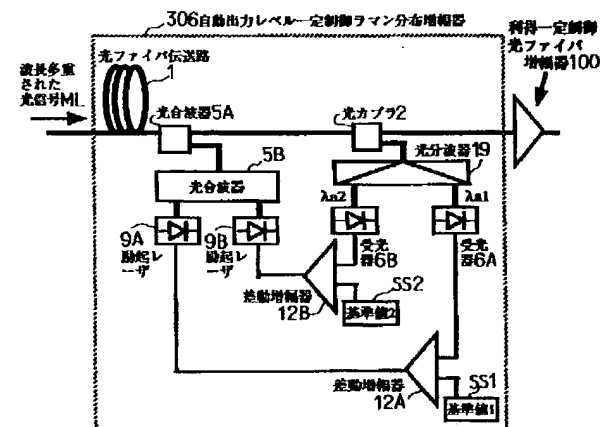
【図6】

図6



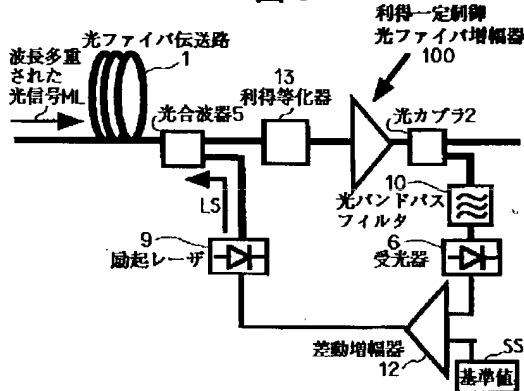
【図11】

図11



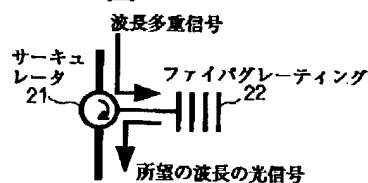
【図5】

図5



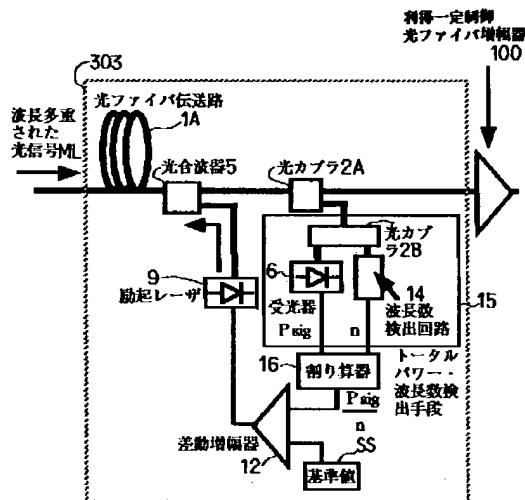
【図7】

図7



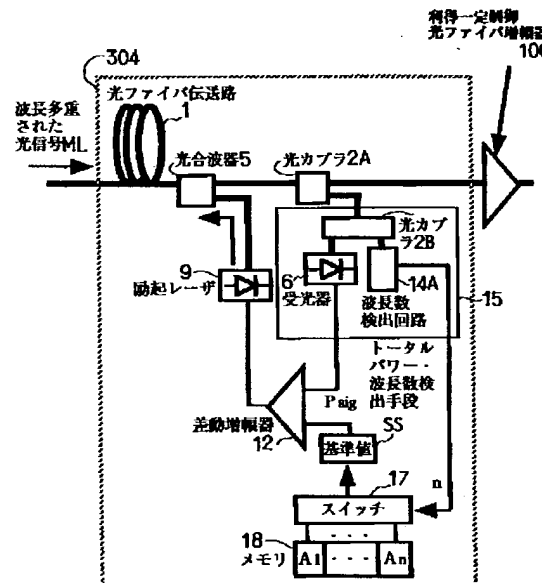
【図8】

図8



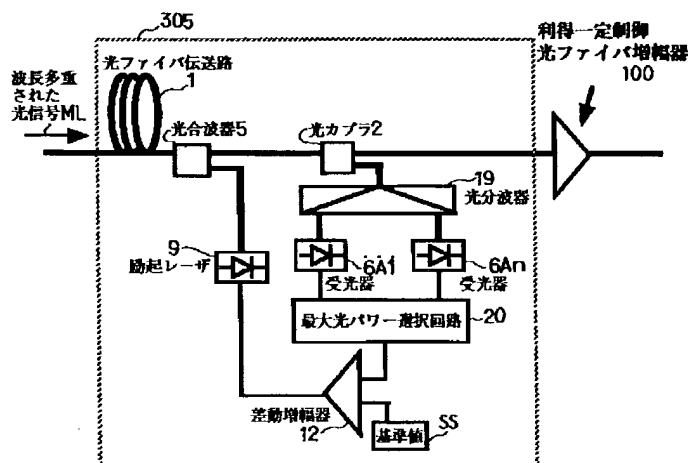
【図9】

図9



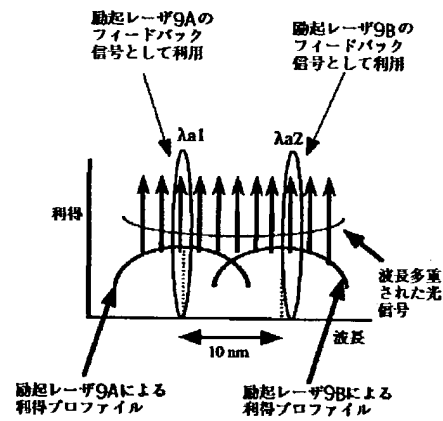
【図10】

図10



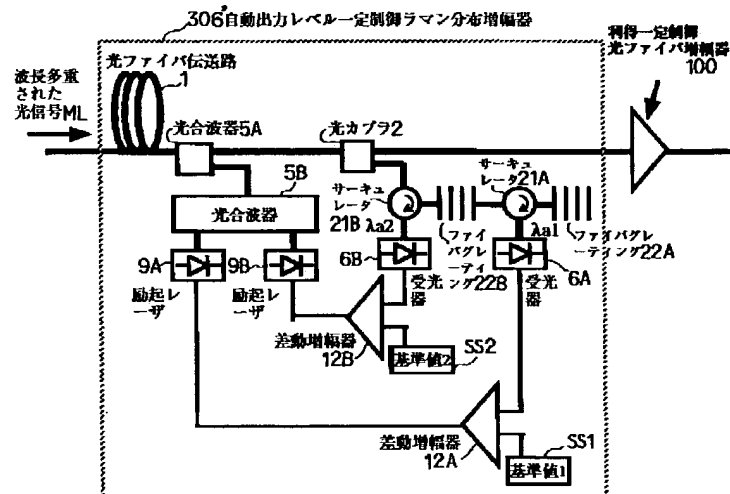
【図12】

図12



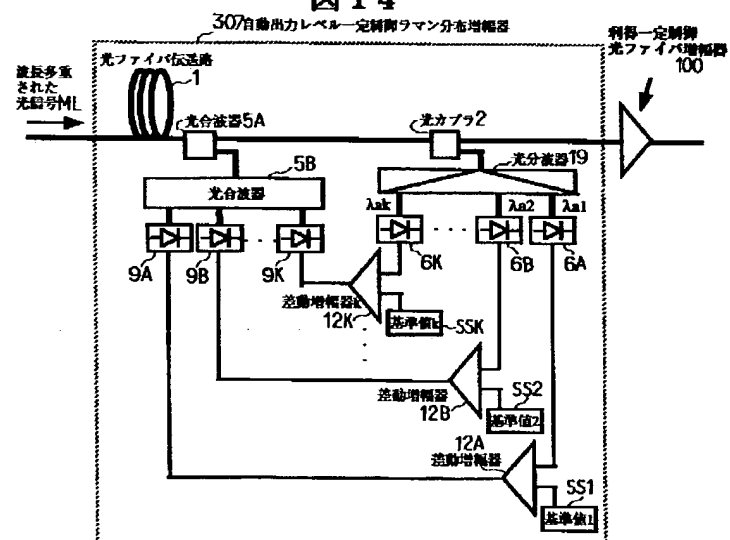
【図13】

図 13



【図14】

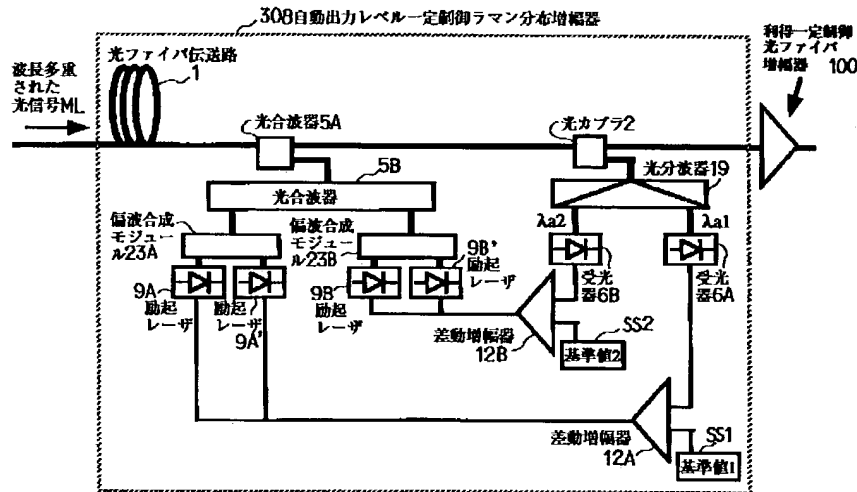
図 14





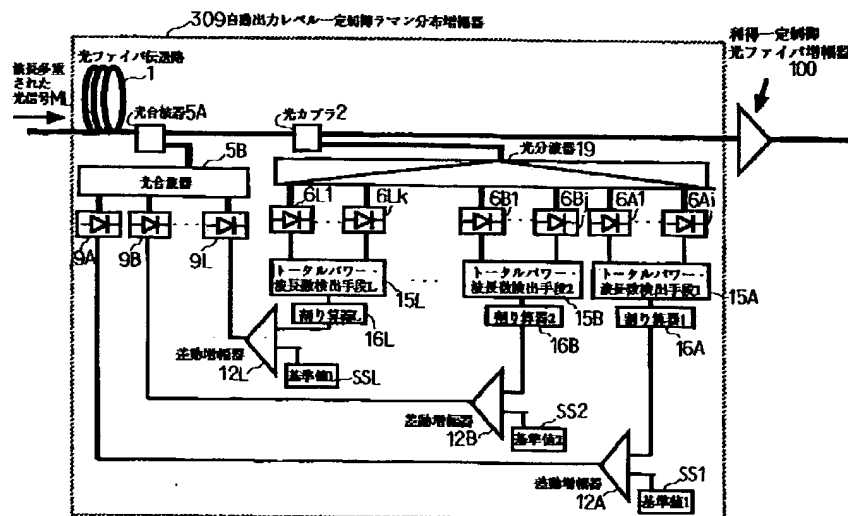
【図15】

図 15



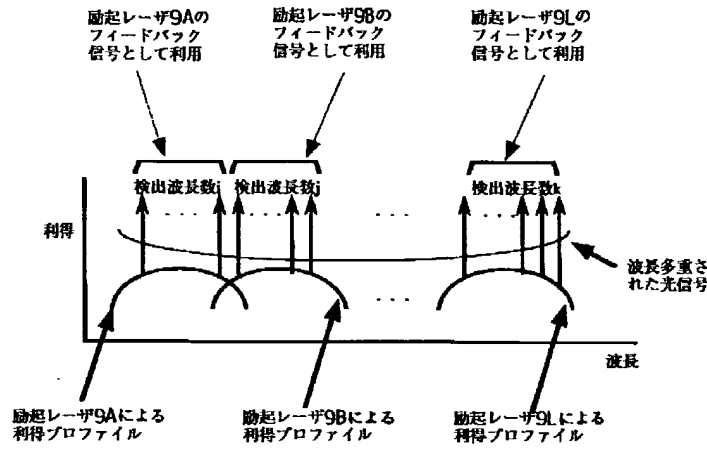
【図16】

図 16



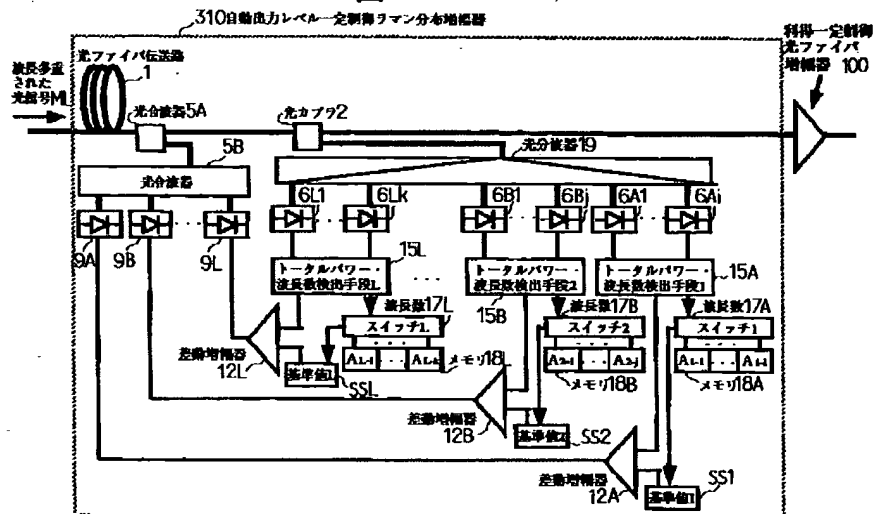
【図17】

図17



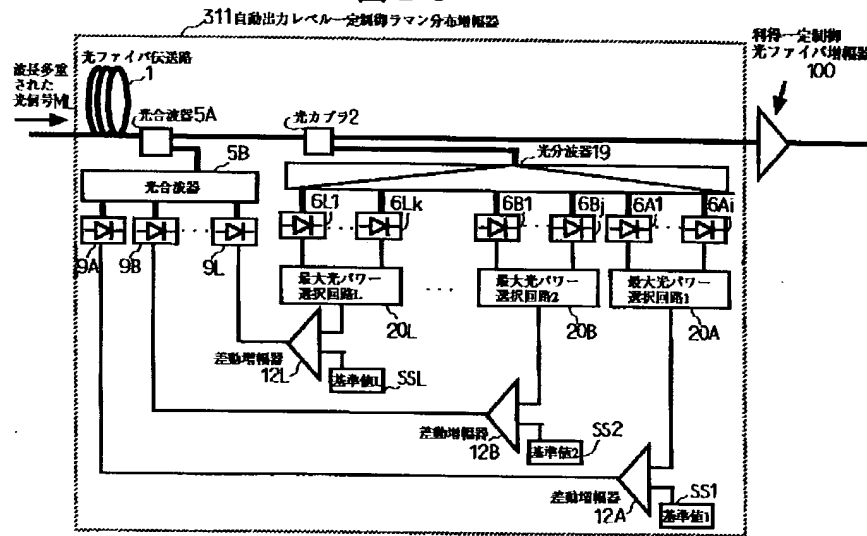
【図18】

図18



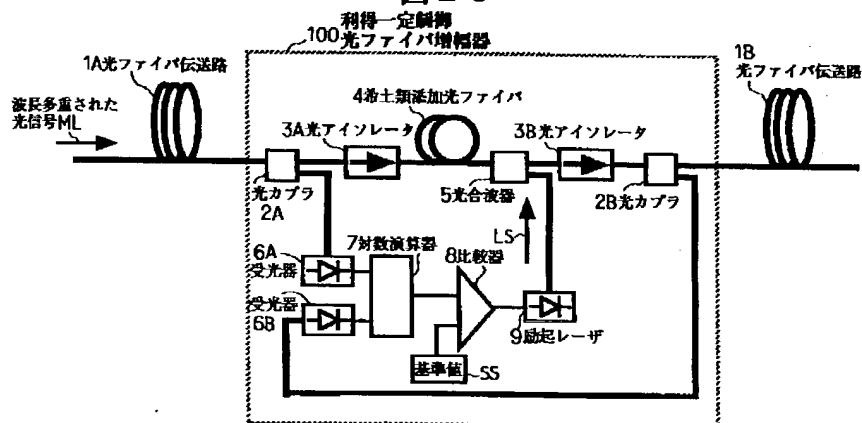
【図19】

図19



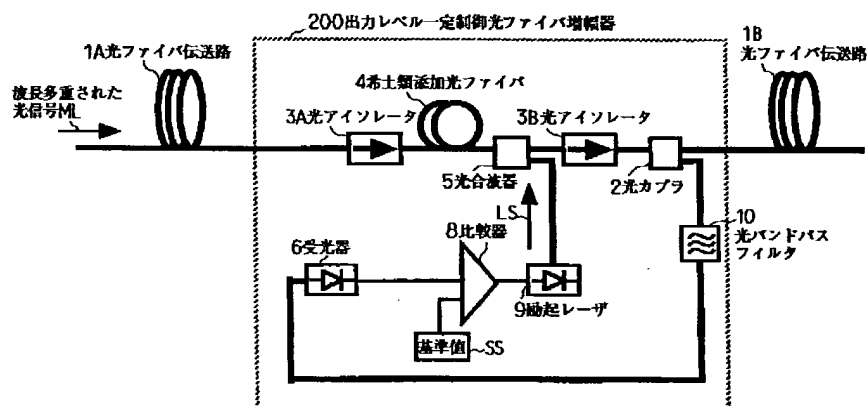
【図20】

図20



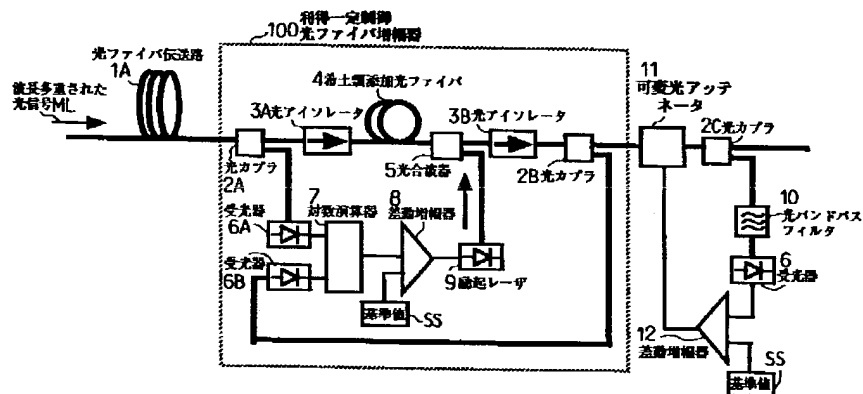
【図21】

図 2 1



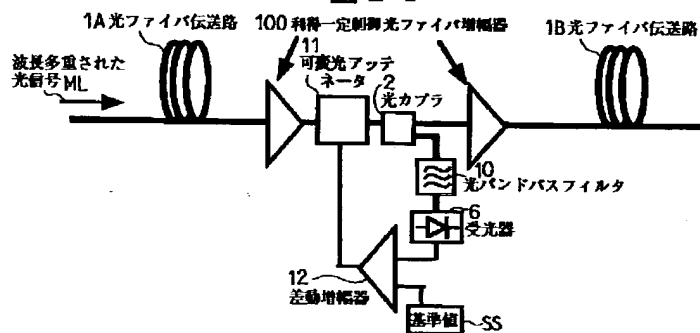
【図22】

図 2 2



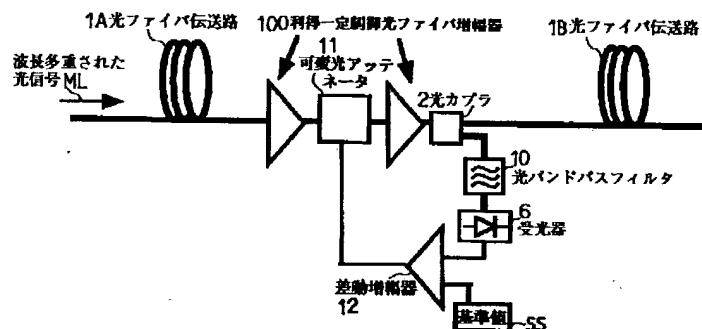
【図23】

図 2 3



【図24】

図24



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマト' (参考)

H 0 4 B 10/17

10/16

H 0 4 J 14/00

14/02

(72)発明者 増田 浩次

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 河合 伸悟

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

F ターム (参考) 2K002 AA02 AB12 BA01 CA15 HA23

5F072 HH02 HH04 JJ20 QQ07 YY17

5K002 AA06 BA02 BA04 BA05 BA13

CA09 CA13 DA02 FA01